

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЭС ПРИ РАБОТЕ В ДОЛЖНОСТИ ДИСПЕТЧЕРА ОДС

Горовой Д.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Петруша Ю.С.

Повышение энергоэффективности диспетчером в ЭЭС предполагает организационные мероприятия, которые позволят снизить потери. Организационные мероприятия не требуют дополнительных капитальных затрат и связаны с оптимизацией режимов существующей сети в условиях эксплуатации. Повышение энергоэффективности предполагает следующие меры:

### 1) Повышение уровня рабочего напряжения в разомкнутых распределительных сетях

Целесообразно повышать рабочее напряжение в сети до предельно допустимого, сохраняя при этом желаемое напряжение на шинах потребителя. Этого можно добиться путем выбора ответвлений трансформаторов на питающей и распределительной ТП.

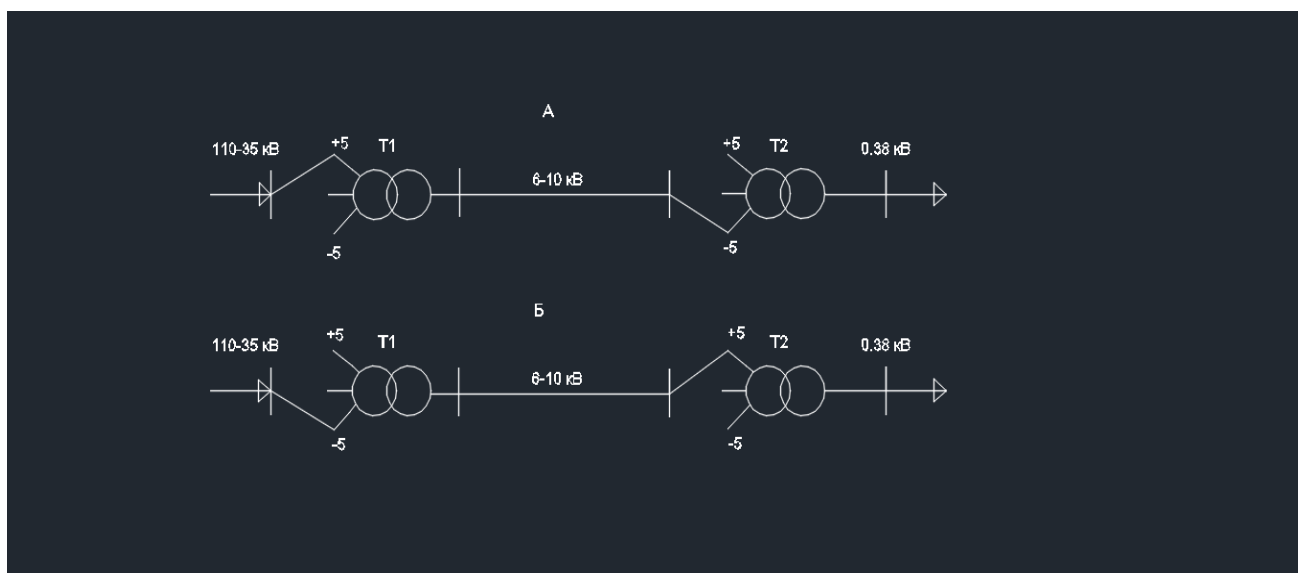


Рисунок 1.1. Схема сети: А-до перестановки ответвлений трансформаторов; Б-после перестановки ответвлений трансформаторов;

В случае А на шинах 0,38 кВ обеспечивается заданное напряжение. Это напряжение можно сохранить, если одновременно на Т1 и на Т2 переключиться на ответвления -5% и +5%, соответственно. Так как на трансформаторе Т1 коэффициент трансформации при этом уменьшился на 10%, то в линии 6-10 кВ напряжение повысится и нагрузочные потери мощности снизятся. Повышение напряжения будет компенсировано увеличением коэффициента трансформации Т2 на 10%, в результате чего на шинах 0,38 кВ напряжение не изменится.

### 2) Оптимизация режимов напряжений и потоков реактивных мощностей в сети

Задача заключается в том, чтобы в каждом режиме работы электрической сети выбирать такие реактивные мощности источников и коэффициенты

трансформации трансформаторов связи замкнутых сетей различных номинальных напряжений, которые обеспечивали бы режимы напряжений в узлах сети, соответствующих минимуму суммарных потерь активной мощности.

Для наглядности была взята сеть номинальным напряжением 110 кВ. Расчетная схема сети показана на рисунке 1.1.

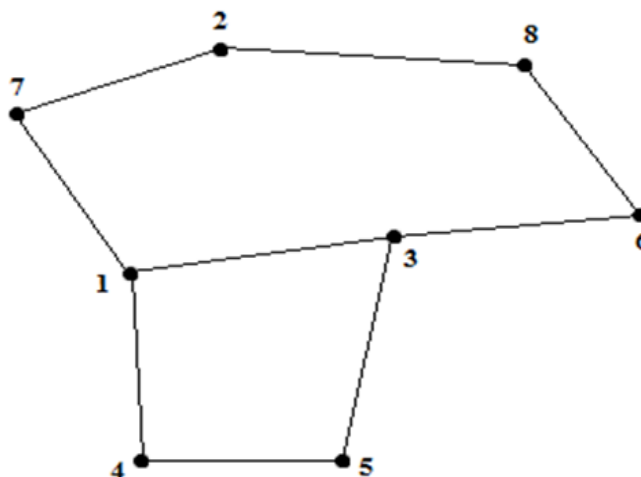


Рисунок 2.1-Расчетная схема сети напряжением 110 кВ

Расчет производился в программе “Rastr”. Были заданы узлы и нагрузки в узлах.

Тип	Номер	...	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	...	V	Delta
База	1		115		1			29,5	34,2					115,00	
Нагр	2		110		1	5,0	3,5							112,75	-0,40
Нагр	3		110		1									113,56	-0,04
Нагр	4		110		1									114,86	0,26
Нагр	5		110		1									114,00	0,09
Нагр	6		110		1									113,50	-0,07
Нагр	7		110		1									113,35	-0,40
Нагр	8		110		1									114,50	0,12
Нагр	21		10		1	20,0	14,0							10,17	-4,39
Нагр	41		110		1									114,63	1,41
Нагр	42		35		1	15,0	10,5							37,86	1,43
Ген-	43		10		1			30,0	9,9	10,5	9,9	22,5		11,10	2,84
Нагр	71		110		1									109,91	-2,65
Нагр	72		10		1	18,0	11,2		1,0					9,74	-5,04
Нагр	31		10		1	15,0	10,5							10,42	-2,95
Нагр	51		10		1	5,0	3,5							10,53	-2,31
Нагр	61		10		1	12,0	7,4							10,58	-2,38
Ген+	81		10		1			32,0	24,0	10,5	10,5	24,0		10,28	2,64

Рисунок 2.2-Исходные данные по узлам заданной сети

Как видно из рисунка 2.2 в узле (72) установлена выдача реактивной мощности 1 квар и напряжение равно 9,74 кВ.

Тип	N_нач	N_кон	N_п	I...	...	R	X	B	Кт/г	...	...	P_нач	Q_нач	...	I max
Тр-р	2	21			-	2,19	43,35	16,9	0,096			-20	-16		133
ЛЭП	7	71			-	1,27	27,95	13,2				-18	-14		115
Тр-р	3	31			-	2,19	43,35	16,9	0,096			-15	-12		98
Тр-р	41	42			-	0,40	0,00		0,330			-15	-11		92
Тр-р	6	61			-	2,19	43,35	16,9	0,096			-12	-8		75
ЛЭП	1	4			-	5,48	5,68	-32,6				4	-7		40
Тр-р	71	72			-	2,54	55,90		0,091			-9	-6		57
Тр-р	71	72			-	2,54	55,90		0,091			-9	-6		57
Тр-р	5	51			-	7,35	110,20	7,6	0,096			-5	-4		32
ЛЭП	4	41			-	0,40	17,75	36,3				15	-2		76
ЛЭП	6	3			-	8,22	8,52	-49,0				1	0		4
ЛЭП	3	5			-	6,85	7,10	-40,8				6	2		30
ЛЭП	5	4			-	6,16	6,39	-36,7				11	5		61
ЛЭП	2	7			-	6,51	6,75	-38,8				5	6		38
ЛЭП	6	8			-	5,14	7,29	-43,8				11	8		70
Тр-р	41	43			-	0,40	11,15		0,096			30	9		158
ЛЭП	3	1			-	8,22	8,52	-49,0				10	10		71
ЛЭП	2	8			-	3,96	8,40	-54,0				20	14		127
ЛЭП	7	1			-	3,01	6,38	-41,0				23	19		151
Тр-р	8	81			-	0,73	19,20	35,5	0,087			32	21		193

Рисунок 2.3-Исходные данные по ветвям заданной сети

В данный момент времени мы можем отследить потери мощности в сети.

N_нач	N_кон	...	Тип	...	P_нач	dP	P_кон	dDelta	...	Q_нач	dQ	Q_ш	Q_кон	...	V_нач	V_кон	dV%
3	1	-	ЛЭП	←	10	0,12	10	0,0		10	0,13	-0,64	9		113,6	115,0	-1,31
1	4	-	ЛЭП	←	4	0,03	4	-0,3	◀	-7	0,03	-0,43	-7	▶	115,0	114,9	0,12
7	1	-	ЛЭП	←	23	0,20	23	-0,4		19	0,43	-0,54	18		113,4	115,0	-1,50
6	3	-	ЛЭП	←	1	0,00	1	0,0		0	0,00	-0,63	0	▶	113,5	113,6	-0,05
5	4	-	ЛЭП	←	11	0,07	11	-0,2		5	0,07	-0,48	5		114,0	114,9	-0,78
2	7	-	ЛЭП	←	5	0,03	5	0,0		6	0,03	-0,50	5		112,7	113,4	-0,55
6	8	-	ЛЭП	←	11	0,07	11	-0,2		8	0,10	-0,57	7		113,5	114,5	-0,91
2	8	-	ЛЭП	←	20	0,19	20	-0,5		14	0,40	-0,70	14		112,7	114,5	-1,59
3	5	-	ЛЭП	←	6	0,02	6	-0,1		2	0,02	-0,53	1		113,6	114,0	-0,40
2	21	-	Тр-р	→	-20	0,12	-20	4,0	▶	-16	2,28	0,22	-14	▶	112,7	10,2	5,81
4	41	-	ЛЭП	←	15	0,01	15	-1,2	▶	-2	0,30	0,48	-1	▶	114,9	114,6	0,20
41	42	-	Тр-р	→	-15	0,01	-15	0,0	▶	-11	0,00		-11	▶	114,6	37,9	0,05
41	43	-	Тр-р	←	30	0,03	30	-1,4		9	0,83		10		114,6	11,1	-0,93
7	71	-	ЛЭП	→	-18	0,05	-18	2,2	▶	-14	1,11	0,16	-12	▶	113,4	109,9	3,13
71	72	-	Тр-р	→	-9	0,03	-9	2,4	▶	-6	0,55		-6	▶	109,9	9,7	2,82
71	72	-	Тр-р	→	-9	0,03	-9	2,4	▶	-6	0,55		-6	▶	109,9	9,7	2,82
3	31	-	Тр-р	→	-15	0,06	-15	2,9	▶	-12	1,22	0,22	-10	▶	113,6	10,4	4,20
5	51	-	Тр-р	→	-5	0,02	-5	2,4	▶	-4	0,34	0,10	-4	▶	114,0	10,5	3,59
6	61	-	Тр-р	→	-12	0,04	-12	2,3	▶	-8	0,71	0,22	-7	▶	113,5	10,6	2,96
8	81	-	Тр-р	←	32	0,08	32	-2,5		21	2,19	0,47	24		114,5	10,3	-3,28

Рис.2.4-Потоки активной и реактивной мощности совместно с потерями

В данный момент, для уменьшения потерь в сети, диспетчер ОДС должен увеличить выдачу реактивной мощности в сеть для уменьшения потерь. В узле сети (72) увеличиваем выдачу реактивной мощности до 5 квар.

Тип	Номер	...	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	...	V	Delta
База	1		115		1			29,5	29,6					115,00	
Нагр	2		110		1	5,0	3,5							112,93	-0,43
Нагр	3		110		1									113,58	-0,05
Нагр	4		110		1									114,86	0,26
Нагр	5		110		1									114,01	0,09
Нагр	6		110		1									113,57	-0,09
Нагр	7		110		1									113,60	-0,46
Нагр	8		110		1									114,62	0,09
Нагр	21		10		1	20,0	14,0							10,19	-4,41
Нагр	41		110		1									114,64	1,41
Нагр	42		35		1	15,0	10,5							37,86	1,43
Ген-	43		10		1			30,0	9,9	10,5	9,9	22,5		11,10	2,84
Нагр	71		110		1									111,51	-2,70
Нагр	72		10		1	18,0	11,2		5,0					10,01	-5,03
Нагр	31		10		1	15,0	10,5							10,42	-2,95
Нагр	51		10		1	5,0	3,5							10,53	-2,31
Нагр	61		10		1	12,0	7,4							10,59	-2,39
Ген+	81		10		1			32,0	24,0	10,5	10,5	24,0		10,29	2,61

Рисунок 2.5-Данные по узлам сети после увеличения выдачи реактивной мощности

Как видно из рисунка 2.5 напряжение в узле (72) увеличилось до 10,01 кВ. Так же уменьшились потери мощности в сети, о чем свидетельствует рисунок 2.6.

N_нач	N_кон	...	Тип	...	P_нач	dP	P_кон	dDelta	...	Q_нач	dQ	Q_ш	Q_кон	...	V_нач	V_кон	dV%
3	1	-	ЛЭП	←	10	0,12	10	0,0		10	0,12	-0,64	9		113,6	115,0	-1,29
1	4	-	ЛЭП	←	4	0,03	4	-0,3	←	-7	0,03	-0,43	-7	←	115,0	114,9	0,12
7	1	-	ЛЭП	←	23	0,17	23	-0,5		14	0,36	-0,54	14		113,6	115,0	-1,28
6	3	-	ЛЭП	←	1	0,00	1	0,0	←	0	0,00	-0,63	-1	←	113,6	113,6	-0,01
5	4	-	ЛЭП	←	11	0,07	11	-0,2		5	0,07	-0,48	5		114,0	114,9	-0,78
2	7	-	ЛЭП	←	5	0,03	5	0,0		7	0,03	-0,50	6		112,9	113,6	-0,60
6	8	-	ЛЭП	←	11	0,08	12	-0,2		9	0,11	-0,57	8		113,6	114,6	-0,96
2	8	-	ЛЭП	←	20	0,18	20	-0,5		14	0,38	-0,70	13		112,9	114,6	-1,54
3	5	-	ЛЭП	←	6	0,02	6	-0,1		2	0,02	-0,53	1		113,6	114,0	-0,39
2	21	-	Тр-р	→	-20	0,11	-20	4,0	←	-16	2,27	0,22	-14	←	112,9	10,2	5,79
4	41	-	ЛЭП	←	15	0,01	15	-1,2	←	-2	0,30	0,48	-1	←	114,9	114,6	0,20
41	42	-	Тр-р	→	-15	0,01	-15	0,0	←	-11	0,00		-11	←	114,6	37,9	0,05
41	43	-	Тр-р	←	30	0,03	30	-1,4		9	0,83		10		114,6	11,1	-0,93
7	71	-	ЛЭП	→	-18	0,04	-18	2,2	←	-8	0,85	0,17	-7	←	113,6	111,5	1,89
71	72	-	Тр-р	→	-9	0,02	-9	2,3	←	-4	0,42		-3	←	111,5	10,0	1,63
71	72	-	Тр-р	→	-9	0,02	-9	2,3	←	-4	0,42		-3	←	111,5	10,0	1,63
3	31	-	Тр-р	→	-15	0,06	-15	2,9	←	-12	1,22	0,22	-10	←	113,6	10,4	4,20
5	51	-	Тр-р	→	-5	0,02	-5	2,4	←	-4	0,34	0,10	-3	←	114,0	10,5	3,59
6	61	-	Тр-р	→	-12	0,04	-12	2,3	←	-8	0,71	0,22	-7	←	113,6	10,6	2,96
8	81	-	Тр-р	←	32	0,08	32	-2,5		21	2,18	0,47	24		114,6	10,3	-3,28

Рисунок 2.6-Потоки активной и реактивной мощности после увеличения выдачи реактивной мощности в сеть

Расчет этого метода по снижению потерь основывался на следующих формулах, которые наглядно показывают, как меняются потери мощности в зависимости от выдачи реактивной мощности.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_{\text{л}} \cdot \quad (2.1)$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_k)^2}{U^2} R_{\text{л}} \cdot \quad (2.2)$$

### 3) Оптимизация режимов напряжения электропередачи сверхвысокого напряжения

В ЛЭП 330 кВ и выше наряду с нагрузочными потерями мощности, которые уменьшаются с увеличением рабочего напряжения, но тогда существенные потери имеются на корону. Оптимальным будет такое напряжение, которое приводит к минимальным суммарным потерям.

Таблица 3.1-Удельные потери мощности в зависимости от погодных условий

Номинальное напряжение линии, кВ	Число проводов в фазе	Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Суммарное сечение проводов в фазе, мм <sup>2</sup>	Удельные потери мощности на корону при хорошей погоде, кВт/км	Удельные потери мощности на корону при сухом снеге, кВт/км	Удельные потери мощности на корону при влажной погоде, кВт/км	Удельные потери мощности на корону при изморози, кВт/км
750	4	600	2400	4.6	17.5	65	130
500	3	400	1200	2.4	9.1	30.2	79.2
330	2	400	800	0.8	3.3	11	33.5

Рассмотрим изменение потерь активной мощности на корону в зависимости от поданного напряжения. Потери мощности определим по следующим формулам:

$$\Delta P_{\text{к.у.}} = 10^{-10} \cdot U^2 \cdot \left( \frac{U}{U_k} \right)^5 \quad (3.1)$$

$$\Delta P_{\text{кор}} = \Delta P_{\text{к.у.}} \cdot L \quad (3.2)$$

Для наглядности рассчитаем потери мощности при влажной погоде для линии 330 кВ.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{к.у.}} &= 10^{-10} \cdot 331000^2 \cdot \left( \frac{331000}{330000} \right)^5 = 11,123 \text{ кВт/км} \\ L &= 100 \text{ км} \\ \Delta P_{\text{кор}} &= \Delta P_{\text{к.у.}} \cdot L = 11,123 \cdot 100 = 1112,3 \text{ кВт} \end{aligned}$$

При уменьшении рабочего напряжения на 2 кВ при влажной погоде потери на корону будут следующими:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{к.у.}} &= 10^{-10} \cdot 329000^2 \cdot \left( \frac{329000}{330000} \right)^5 = 10,661 \text{ кВт/км} \\ \Delta P_{\text{кор}} &= \Delta P_{\text{к.у.}} \cdot L = 10,661 \cdot 100 = 1066,1 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Таким образом, расчет показывает, что при уменьшении рабочего напряжения в допустимых пределах, потери активной мощности так же уменьшаются.

### Заключение

1) Актуальность данной темы заключается в том, что с помощью вышеизложенных методов, диспетчер ОДС может снижать потери в сети. Изложенные организационные мероприятия не требуют дополнительных капитальных затрат и связаны с оптимизацией режимов существующей сети в условиях эксплуатации.

2) Для расчета были выбраны два метода по снижению потерь: 1- оптимизация режимов напряжений и потоков реактивных мощностей в сети; 2- оптимизация режимов напряжения электропередачи сверхвысокого напряжения. Так как они наиболее просты в практическом применении.

3) Анализируя проведенные расчеты можно сказать о том, что применение данных методов в работе диспетчера на порядок может изменить потери в сети в меньшую сторону.

### Литература

1. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычев П.В. Электрические системы и сети. Мн.: Технопринт, 2004.
2. В.И. Идельчик. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989